

Hernández A.J. y Pastor, J. 2008. La restauración en sistemas con suelos degradados: estudio de casos en agroecosistemas mediterráneos y taludes de carretera. En: *Contaminación de Suelos. Tecnologías para su Recuperación*. (eds. R. Millán y C. Lobo) : 545-564. Ed. CIEMAT, Madrid.

La restauración en sistemas con suelos degradados: estudio de casos en agroecosistemas mediterráneos y taludes de carretera

A. J. Hernández (1) y J. Pastor (2)

(1) Dpto. Ecología, Universidad de Alcalá;

(2) Dpto. Ecología de Sistemas, CCMA, CSIC, Madrid.

1. Estudios de la restauración en agroecosistemas mediterráneos del secano: la recuperación natural después de la retirada de cultivo cerealístico y la utilización de cubiertas vegetales en olivar y viñedo

Los sistemas con monocultivos, sean cerealísticos, olivares o viñedos, en el secano español, dejan a lo largo de los años suelos muy degradados. En ambos escenarios se ha primado el espacio solamente para producir y no para conservar el suelo. Son evidentes los procesos erosivos al presentar suelos desnudos siempre o durante gran parte del año, como consecuencia de la adicción de herbicidas contra las “malas hierbas”, hecho que se une, en gran medida, a terrenos con pendientes. Por otra parte, los fertilizantes añadidos también pueden causar deterioro de suelos y eutrofización en los cursos de agua del entorno y contaminación de aguas subterráneas. Además, ocurre en muchos casos, el no seguir las curvas de nivel en la disposición de filas e hileras con objeto de facilitar el trabajo de la maquinaria agrícola, lo cual favorece la erosión por el agua a la vez que provoca compactación de los suelos. A todo ello se une la política agraria comunitaria (PAC), que ha conllevado la retirada de muchas tierras con estos cultivos, especialmente cerealísticos. Los cambios de uso incluyen muchas veces reforestaciones inmediatas a la retirada del cereal, complicando la restauración ecológica por falta de conocimientos acerca del funcionamiento de los suelos en esas condiciones.

Toda esta problemática es de importancia crucial en las zonas semiáridas del territorio donde se ubican la mayoría de los agroecosistemas mediterráneos, ya que las causas de la degradación de suelos se encuentran relacionadas esencialmente con un manejo inadecuado de los mismos. Por otra parte, el régimen de precipitaciones en este territorio peninsular implica conocer las respuestas de la vegetación autóctona, si se pretende utilizarla para que pueda paliar los efectos erosivos (Hernández et al., 2005). La competencia por el agua en la época de estío del clima mediterráneo implica ir conociendo por un lado, las especies autóctonas que mejor puedan responder a los factores ambientales del territorio donde se ubican estos cultivos y, por otro, cómo saberlas manejar adecuadamente a fin de subsanar los impactos sobre la producción. Las cubiertas están consideradas como una técnica más avanzada que la cero labranza en general, dentro de la Agricultura de Conservación (Corvetto, 2000). Teniendo esto en cuenta, hemos aplicado los conocimientos adquiridos por nosotros

durante muchos años en cuanto a la composición florística de los pastos en distintos tipos de suelo, a las relaciones eco-edáficas, a la ecofisiología de la nutrición mineral y al estudio autoecológico de muchas de las especies herbáceas de estos sistemas, con el fin de realizar una aplicación de esos conocimientos a la recuperación de suelos degradados del centro peninsular, en los que las prácticas habituales de la agricultura, han contribuido poderosamente a la pérdida de materia orgánica, a la erosión de la capa superficial edáfica y, en definitiva, a la degradación de los mismos.

Una buena parte de nuestra investigación en los últimos 25 años ha estado pues enmarcada por la situación descrita, si bien en los apartados siguientes nos referiremos a dos tipos de casos estudiados en la Finca Experimental de La Higuera de la Olalla del CSIC (Santa Olalla, Toledo). Ambos pretenden ser una respuesta a las prácticas ambientales en agricultura y desarrollo sostenible, aplicando criterios ecológicos: “agricultura de conservación”, “agricultura sostenible” y “agricultura ecológica”.

1.1 La restauración mediante la recuperación natural después de la retirada de un cultivo cerealista

Exponemos a continuación la secuencia de las principales actividades llevadas a cabo a lo largo de 20 años en relación a la restauración de un agroecosistema mediante la aplicación de la teoría ecológica de la sucesión. Se trata de minimizar los efectos erosivos dejando a la colonización natural de la vegetación procedente del banco de semillas el papel protagonista. El principal punto de interés estriba en el conocimiento de factores relacionados con el proceso de la sucesión secundaria en el territorio arcésico (*facies Madrid*), debido al constante movimiento de tierras y de cambios de usos de los suelos en el mismo.

En 1987 se dispuso de una hectárea de una ladera con pendiente suave (10-15 %) dedicada durante más de 50 años a cultivo de cereal (esencialmente cebada) en la Finca de La Higuera de la Olalla, (Santa Olalla, Toledo) La dividimos en tres grandes transectos según la dirección de la pendiente (partes alta, media y baja que vienen a coincidir con las zonas de exportación, transporte y sedimentación). En cada uno de los transectos se dispusieron 6 parcelas de 6 x 0,6 m con ligeras variaciones en su sentido de orientación y en las que durante y que han permanecido fijas durante los 20 años siguientes para el monitoreo de parámetros fitoecológicos y edáficos; así mismo se realizó también una evaluación del material erosionado durante los primeros cuatro años (tabla 1)

Tabla 1. Material erosionado (g/m^2) en 15 observaciones en las parcelas monitorizadas después de la retirada del cereal.

Observaciones	2º Año						3º Año						4º Año		
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª	13ª	14ª	15ª
Material erosionado	119	42,4	38,6	8,3	3,9	1,2	1,8	0,3	0,6	3,2	2,7	0,6	1,3	2,2	1,0

Lógicamente, a medida que aumentaba la cobertura vegetal, la erosión fue disminuyendo. En la tabla 2 se pueden observar las coberturas de las principales familias botánicas después de dos años de abandono y al finalizar el vigésimo año. Así mismo, en la tabla 3 se muestran los parámetros edáficos que resultaron ser estadísticamente significativos entre los 35 analizados para la capa superficial edáfica en este sistema.

Tabla 2. Estimación de la cobertura vegetal (% medios) y de la riqueza de especies

	Rto. Herbáceo	Riqueza de especies
2° año	42	65
4° año	79	112
20° año	82,8	77

Como puede observarse, el recubrimiento vegetal aumenta correlativamente con la edad del abandono, pero no ocurre lo mismo con la biodiversidad que, sabemos por conocimientos de la dinámica sucesional que la riqueza de especies no se comporta siempre aumentando. Hemos constado aquellos parámetros edáficos que pensamos están relacionados con la resiliencia en este sistema (Hernández et al., 2002) y que son aquellos que mostramos en la tabla 3; no obstante pueden observarse también las diferencias más notables respecto a los parámetros edáficos que están más relacionados con las primeras etapas de la sucesión vegetal en la tabla 4. Los resultados expuestos en estas dos tablas son importantes no solo para comprender cuales son aquellos parámetros en que hay que prestar atención para la recuperación de un suelo degradado en este territorio, sino también para saber que una recuperación natural necesita no menos de 5 años para lograr una estabilidad en este tipo de agroecosistemas.

Tabla 3.- Parámetros edáficos estadísticamente significativos (valores medios entre todas las parcelas) durante los primeros años del ensayo experimental de recuperación de la vegetación natural después de la retirada del cultivo cerealístico en un agroecosistema sobre un luvisol cálcico. (Valores totales para los metales pesados y asceriscos por encima de 90, 95 y 99 % del nivel de significación con uno, dos y tres respectivamente)

PARÁMETROS SUELO	1° año	2° año	3° año	4° año	Nivel signif.
Limo	20,68	16,30	23,35	26,38	*
Arena total %	60,48	50,38	60,03	52,25	*
Arena fina %	32,75	34,18	31,60	30,38	***
Fracc Gruesa %	4,03	4,28	2,68	12,56	***
pH	7,71	7,39	7,81	7,13	*
M.O. %	1,24	1,51	1,22	1,91	*
C/N	10,38	11,36	10,93	15,06	**
Mg mg/100g	7,33	16,60	13,33	13,43	*
Cloruros mg/100g	0,61	1,25	0,53	0,47	**
Nitratos mg/100g	1,40	0,28	6,10	0,14	***
Conductividad	212,0	238,3	221,5	124,1	***
Fe mg/kg	20373	18425	18832	6809	***
Mn mg/kg	315,0	302,5	285,0	121,1	***
Zn mg/kg	69,25	83,75	76,25	33,56	***
Al mg/kg	30213	28628	25363	17833	*

Tabla 4.- Diferencias de los parámetros edáficos más relacionados con la físico y la fertilidad del suelo entre el 1º y 7º año del experimento

	Dap.	Arcilla	Limo	Arena	Porosid	pH	M.O.	N	C/N	Na	K	Ca	Mg	Cond.
1º	1,43	18,9	20,7	60,5	45,5	7,7	1,24	0,069	10,4	1,13	24,5	307	7,3	212
7º	1,56	16,4	25,0	58,7	40,5	7,5	1,76	0,111	9,5	0,46	26,3	190	10,2	188

Por ultimo, exponemos en la tabla 5 los resultados obtenidos al finalizar el ensayo por la relación que guarda con los casos que consideramos en los siguientes apartados.

1. 2 El empleo de cubiertas vegetales para la restauración de suelos en agroecosistemas de cultivos leñosos de secano (olivar y viñedo)

La situación de partida y planteamiento de la investigación para la restauración de sistemas en escenarios con erosión del suelo y pérdida de nutrientes esencialmente, nos ha llevado a otro escenario muy frecuente en nuestro ambiente mediterráneo semiárido. Se trata de ir propiciando cubiertas permanentes en viñedos y olivares como una de las técnicas de conservación de suelos. La hipótesis de partida estriba en abordar la competencia por el agua en la época de estío del clima mediterráneo. Esta hipótesis implica: (i) ir conociendo las especies autóctonas que mejor puedan responder a los factores ambientales del territorio donde se ubican y, (ii) saberlas manejar adecuadamente con el fin de subsanar los impactos de las mismas sobre la producción. El empleo de cubiertas está considerado como una técnica avanzada dentro de la agricultura de conservación, aunque, una evaluación de las cubiertas desde la restauración ecológica de estos sistemas, es actualmente fragmentaria.

Tabla 5. Resultados relativos a la vegetación en las parcelas después de 20 años de abandono del cereal

	Nº especies (media)	Rcbrto. medio %	Gramíneas (Nº total / Rcbrto. medio)	Leguminosas Nº total / Rcbrto. medio
Zona alta	25,5	91,5	11 / 15,2	5 / 10,3
Zona media	28,1	82,2	9 / 13,8	2 / 2,3
Zona baja	29,8	74,7	7 / 12,8	2 / 2,5

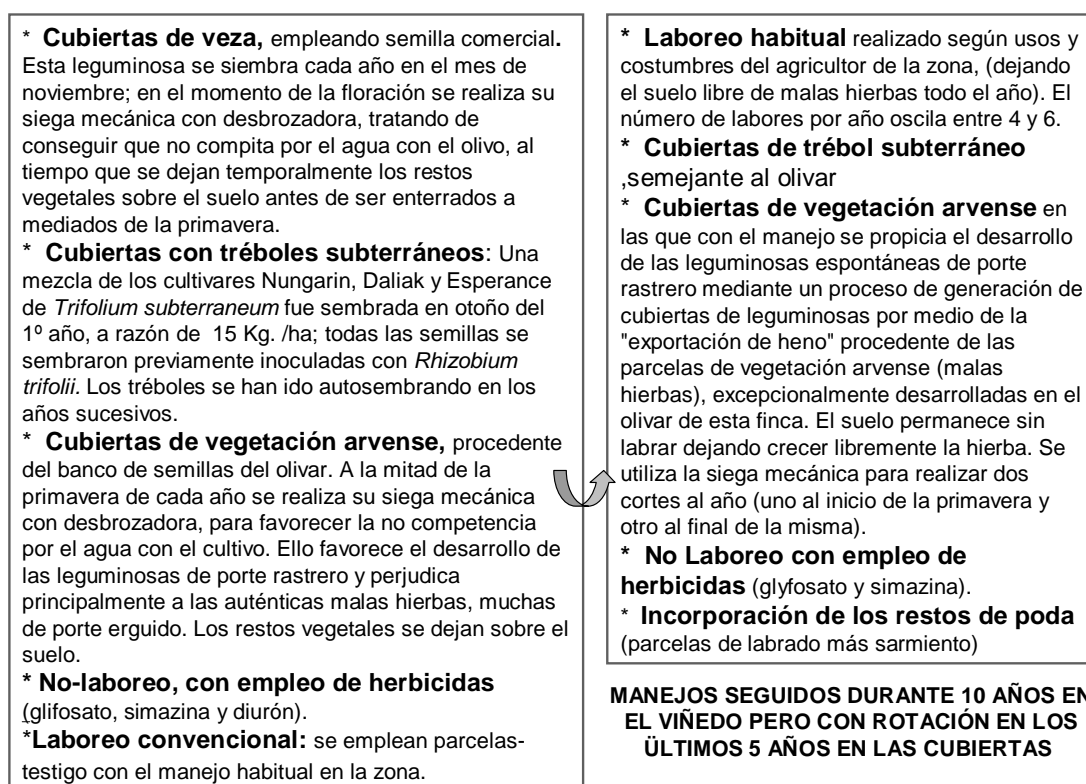
Los experimentos correspondientes a los ensayos con cubiertas vegetales se han llevado a cabo en un olivar de 7,5 ha y en un viñedo de 4 Ha localizados en la Finca Experimental de “La Higuera”. Situados en un territorio de carácter semiárido, con lluvias irregulares y, en muchos casos torrenciales, favoreciendo durante siglos los fenómenos de escorrentía y pérdida de suelo, hemos tratado en primer lugar de paliar la erosión, para irnos acercando a tener unos cultivos más respetuosos con el medio ambiente. Los tratamientos de manejo han tenido un diseño de parcelas al azar con tres replicaciones cada uno: parcelas de 96 x 12 m en el olivar y de 51 x 9 m en el viñedo; el diseño estadístico fue basado en tres bloques al azar por cada tratamiento, (ver figura 1)

A lo largo de los años se mantuvo el primer diseño experimental llevado a cabo en el caso del olivar. En el viñedo, el diseño de manejo que durante cinco años consecutivos, veníamos realizando, si bien concluyó con resultados satisfactorios en orden a la detención de la erosión del suelo en las parcelas con cubiertas herbáceas, sin embargo, el éxito de las mismas, empezó a afectar la producción de uva, valorada exclusivamente en términos económicos, especialmente en los años secos (tabla 6). Debido a ello, se inició un sistema compensatorio de manejo, en el que, una vez conseguida una cubierta apreciable, especialmente de leguminosas, una de las calles que rodea las vides se labra y la otra no. Con este nuevo

manejo de las cubiertas se pretende conseguir mejorar “el fondo de fertilidad” del suelo de todas las zonas del cultivo, al tiempo de mantener bajo control el porcentaje de recubrimiento herbáceo para que afecte lo menos posible, a la producción de uva, al entrar las cubiertas en competencia por el agua con el cultivo leñoso. “Banco de semillas” y “fondo de fertilidad”, se nos convierten así en dos cuestiones que debemos apoyar para una sostenibilidad del sistema, siguiendo principios de restauración ecológica. Y lógicamente, se hace necesario emplear lo que se ha venido denominando últimamente técnicas de “ingeniería ecológica” (Bergen et al., 2001; Gattie et al, 2003; Pastor et al., 2007-a). Es decir, seleccionando procesos hacia los que el agrosistema emerge en respuesta a las condiciones ambientales concretas (Kangas, 2004).

La decisión de emplear trébol subterráneo se ha debido a que la especie nos parecía adecuada a las características de los suelos en el que se establecieron las parcelas (suelos ácidos); además, de dicha especie existen semillas comerciales de cultivares con diferentes duración del ciclo biológico. Se han elegido los cultivares "Nungarín", "Daliak" y "Esperance" para el ensayo, ya que se tratan de cultivares de carácter temprano y medio de *Trifolium subterraneum*. Son cultivares de carácter temprano y medio de esta especie que, a pesar de que esta planta tiene un ciclo fenológico en principio adecuado a las necesidades hídricas de ambos cultivos, olivo y vid, se necesita cuidar lo más posible el que no haya competencia por el agua entre la especie herbácea y los cultivos leñosos aludidos. Todas las semillas se sembraron previamente inoculadas con *Rhizobium trifolii*. Los tréboles se han ido autosembrando en los años sucesivos del experimento.

Figura 1. Sistemas de manejo en olivar y viñedo durante 10 años consecutivos en una misma finca del territorio arcósico del centro peninsular



MANEJOS SEGUIDOS DURANTE 10 AÑOS EN EL OLIVAR

MANEJOS SEGUIDOS DURANTE 10 AÑOS EN EL VIÑEDO PERO CON ROTACIÓN EN LOS ÚLTIMOS 5 AÑOS EN LAS CUBIERTAS

Tabla 6. Producción del viñedo (kg/ha).

1° Manejo	1997	1998	1999	2000	2001
Laboreo	6338 a	4589 a	8418 a	4228 ab	3123 a
Laboreo + sarmientos	4425 a	3781 a	6907 a	5370 a	2404 ab
Cubierta Malas Hierbas	6017 a	2826 a	3973 b	3808 b	2068 b
Cubierta trébol subterráneo	6337 a	3677 a	3398 b	3259 b	1682 bc
No-Laboreo	4629 a	2937 a	7021 a	2166 c	1150 c
2° Manejo (diseño rotación)	2003	2004	2005	2006	
Cubierta en calles alternas	6844 a	3869 a	5219 a	3337 a	
Testigo labrado (Exp. NL)	6580 a	5203 a	6566 a	4355 a	

Valores seguidos por letras distintas en una misma fila difieren significativamente ($P < 0,05$; test de Tukey).

Las cubiertas de la vegetación arvense espontánea surgidas del banco de semillas del suelo se siegan en primavera, a pocos centímetros de la superficie del mismo, para minimizar la competencia con el cultivo, dejando las plantas secas sobre el mismo.

Durante los años de experimentación consecutivos (1996-2007), se ha llevado a cabo una monitorización de estos sistemas mediante la realización de inventarios de la vegetación arvense que crecía en las parcelas de la vegetación residente y en las de los tréboles durante las primaveras y al comienzo también en el otoño, con el fin de identificar aquellas especies arvenses cuyo ciclo fenológico está más ligado al verano, así como las medidas de cobertura vegetal (%) tanto en primavera como en otoño. Así mismo, se ha realizado la toma de muestras de los suelos en los distintos tratamientos y analizados diferentes parámetros físico-químicos y biológicos del suelo. En las tablas 7, 8, 9 y 10 pueden observarse algunos ejemplos relativos a los mismos. El contenido de agua del suelo de las parcelas ha sido de máximo interés. Se ha determinado primeramente por gravimetría de muestras tomadas a tres profundidades 0-20, 20-40 y 40-60 cm, utilizando para ello una sonda de 2,2 cm. de diámetro. El contenido de humedad del suelo se monitorizó durante varios meses a lo largo de 4 años, correspondiendo las medidas al otoño, fin del invierno, inicio de la primavera, plena primavera, fin de la misma (junio), e inicio del verano, cuyos resultados se muestran en Hernández et al. (2005). Recientemente se está haciendo la monitorización de la humedad mediante equipos Dataloggers EM5 y sondas de humedad ECH₂O de la casa Decagon (Pastor et al., 2007-b)

a) Valoración de cubiertas de leguminosas para suelos degradados

- **Cubiertas de trébol subterráneo.** La mezcla de los tres cultivares que fueron sembrados al comienzo del primer año dio unos resultados muy satisfactorios en la primavera siguiente (una media de 16-17 frutos por ejemplar), lo que nos hizo predecir los buenos resultados que tendríamos en la autosiembra de esta especie que, lógicamente, se puso de manifiesto en la cobertura del suelo que alcanzó en las otoñadas, (Pastor y Hernández, 2003). Además del recubrimiento medio por parcela que alcanzaron los tréboles, la permanencia de la especie en años sucesivos. Al finalizar la primavera del 2° año del ensayo, todos los surcos heredados del manejo tradicional en el viñedo habían casi desaparecido de las parcelas con *T. subterraneum*. Los tréboles subterráneos fueron invadiendo las parcelas de los demás tratamientos.

Tabla 7.- Niveles de C orgánico (%) en el suelo del olivar.

AÑOS	Veget. arvense	Veza	T. subterráneo	Laboreo	No laboreo
Inicio	0.21	0.20	0.22	0.23	0.29
1º	0.26 ± 0.06	0.21 ± 0.05	0.25 ± 0.02	0.28 ± 0.03	0.28 ± 0.04
2º	0.29 ± 0.04	0.29 ± 0.04	0.26 ± 0.05	0.29 ± 0.06	0.12 ± 0.10
3º	0.32 ± 0.04	0.29 ± 0.03	0.31 ± 0.02	0.25 ± 0.04	0.32 ± 0.04
4º	0.21 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.21 ± 0.09	0.07 ± 0.04
5º	0.33 ± 0.13	0.18 ± 0.02	0.34 ± 0.16	0.19 ± 0.03	0.17 ± 0.04
6º	0.30 ± 0.07	0.27 ± 0.04	0.32 ± 0.08	0.23 ± 0.04	0.18 ± 0.05
7º	0.42 ± 0.29	0.30 ± 0.02	0.61 ± 0.54	0.30 ± 0.05	0.21 ± 0.09
8º	0.43 ± 0.46	0.18 ± 0.03	0.47 ± 0.55	0.15 ± 0.04	0.19 ± 0.14
9º	0.46 ± 0.06	0.23 ± 0.10	0.33 ± 0.12	0.23 ± 0.33	0.27 ± 0.14
10º	0.53 ± 0.15	0.36 ± 0.04	0.67 ± 0.20	0.38 ± 0.03	0.44 ± 0.06

Es suficientemente conocido que el trébol subterráneo está más adaptado a suelos ácidos, mientras que los medicagos lo están a los básicos. Por el tipo de suelo donde se ubica el viñedo que estudiamos (pH de 5,4), la primera especie ha sido elegida por poseer un amplio conocimiento acerca del comportamiento de los tréboles subterráneos en la Península Ibérica. También en los viñedos californianos se utilizaron cubiertas de tréboles subterráneos hace más de 40 años, si bien esta técnica ha sido retomada en la década pasada en ese mismo territorio, incluso manejándola a la vez con cubiertas de vegetación arvense (o residente en el banco de semillas del suelo) en un mismo viñedo, al igual que en nuestro caso.

Tabla 8.- Niveles de N total (%) en el suelo del olivar.

AÑOS	Veget. arvense	Veza	T. subterráneo	Laboreo	No laboreo
Inicio	0.022	0.024	0.023	0.025	0.027
1º	0.019 ± 0.001	0.016 ± 0.003	0.017 ± 0.001	0.016 ± 0.003	0.012 ± 0.002
2º	0.012 ± 0.002	0.017 ± 0.001	0.012 ± 0.004	0.025 ± 0.010	0.013 ± 0.005
3º	0.022 ± 0.002	0.026 ± 0.003	0.028 ± 0.004	0.026 ± 0.005	0.021 ± 0.001
4º	0.017 ± 0.004	0.014 ± 0.003	0.013 ± 0.003	0.015 ± 0.005	0.012 ± 0.015
5º	0.025 ± 0.012	0.019 ± 0.001	0.030 ± 0.016	0.020 ± 0.001	0.014 ± 0.002
6º	0.023 ± 0.009	0.018 ± 0.002	0.025 ± 0.007	0.019 ± 0.005	0.012 ± 0.003
7º	0.030 ± 0.025	0.029 ± 0.012	0.052 ± 0.036	0.017 ± 0.003	0.017 ± 0.011
8º	0.046 ± 0.032	0.023 ± 0.004	0.063 ± 0.047	0.017 ± 0.005	0.027 ± 0.011
9º	0.049 ± 0.005	0.027 ± 0.008	0.065 ± 0.004	0.023 ± 0.010	0.030 ± 0.005
10º	0.054 ± 0.008	0.036 ± 0.004	0.069 ± 0.021	0.034 ± 0.002	0.041 ± 0.007

Tabla.9. Fertilidad bioquímica del suelo para las diferentes estrategias de manejo después de 5 años de experimentación en el olivar. Letras diferentes en una fila se corresponden con diferencias significativas a nivel del 95%. (1 (P<0,1); 2 (P<0,05))

Cubiertas	Biomasa Microbiana	M.O. fácilmente mineralizable	M.O. disponible complejo arcillo-húmico	Cociente metabólico microorganismos del suelo
Veg. Arvense	133.8 ± 86.0 a	0.46 ± 0.15 a	0.84 ± 0.36 a	4.15 ± 1.72 a
Trébol	161.2 ± 34.4 a	0.35 ± 0.03 ab	0.82 ± 0.18 a	2.79 ± 0.75 a
Veza	134.0 ± 61.8 a	0.45 ± 0.30 a	0.54 ± 0.03 ab	3.55 ± 1.66 a

Tabla 10.- Biomasa microbiana (ATP µ g/g) en los 0-60 primeros cm del suelo al finalizar el 3º año con las cubiertas en los dos sistemas leñosos. Letras diferentes en una fila se corresponden con diferencias significativas a nivel del 95%

	TRATAMIENTO		
	Trébol	Laboreo	No-laboreo
Viñedo	235 ± 121 a	147 ± 38 a	159 ± 0 a
Olivar	146 ± 6 a	105 ± 59 ab	49 ± 7 b

Tabla 11. Biodiversidad (media del n° total) y recubrimiento de leguminosas (valor medio del porcentaje) en parcelas de vegetación arvense en el olivar. La + significa solamente presencia.

Leguminosas	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
Riqueza (n° total sp)	7	8	8	9	10	10	12	10	8	10
<i>Ornithopus compressus</i>	+	6	16	61	32	55	35	43	12	25
<i>Biserrula pelecinus</i>	+	4	14	32	10	37	23	22	9	18
<i>Trifolium arvense</i>	+	5	4	5	2	3	2	1	1	4
<i>Lupinus angustifolium</i>	+	1	1	3	+	2	2	1	+	1
Otras leguminosas	2	7	16	10	3	9	13	5	2	3

Otras leguminosas: *T. angustifolium*, *T. hirtum*, *Trigonella polyceratia*, *Vicia lutea* y *V. sativa*

Podemos concluir este apartado diciendo que la implantación y persistencia del trébol subterráneo en los suelos del olivar y viñedo han sido buenas, si bien resulta muy modulada anualmente por el régimen de precipitaciones. Su descenso un año no ha abocado en su desaparición, pues si el siguiente año la cantidad y distribución de lluvias fue propicia, la especie aumenta su presencia. Al trébol le acompañan en el olivar otras leguminosas que potencian su acción beneficiosa sobre el suelo (tabla 11)

- **Valoración de las leguminosas presentes en el banco de semillas del suelo.** El total de todas las especies que acompañan al trébol en las cubiertas correspondientes a los dos sistemas leñosos nos indicaron una cubierta con muchas posibilidades de mantenerse en dichos sistemas. La siega efectuada en las parcelas del olivar favorece el que, dentro de la vegetación arvense, acompañen al trébol algunas leguminosas de porte rastrero, como son *Ornithopus compressus*, *Biserrula pelecinus* y, en menor grado *Trifolium hirtum*, especialmente en el viñedo. En este último sistema no se encuentran estos resultados respecto a las leguminosas residentes en el banco de semillas del suelo durante la estrategia de manejo diseñada para los cinco primeros años. Sin embargo, con la implementación del heno segado en las cubiertas de la vegetación arvense del olivar, las leguminosas en el viñedo han aumentado, (tabla 12.) Se puede comprobar el efecto en cuanto a los porcentajes encontrados para *Biserrula pelecinus* y *Ornithopus compressus* esencialmente. El “abono verde” proporcionado por las leguminosas presentes en los dos sistemas se muestra en la tabla 13.

Tabla 12. Balance general de la cobertura proporcionada por especies de leguminosas, en parcelas de vegetación arvense (Veg. Arv.) y de trébol subterráneo (T) en olivar y viñedo (porcentajes medios). El signo + indica presencia solamente.

Especies	OLIVAR 1° año		OLIVAR 10° año		VIÑEDO 1° año		VIÑEDO 10° año	
	Veg Arv. /	T	Veg Arv. /	T	Veg Arv. /	T	Veg. Arv. /	T
<i>Ornithopus compressus</i>	+	-	45	7	-	-	17,3	11,3
<i>Biserrula pelecinus</i>	+	-	25	6	-	-	10	2,7
<i>Lupinus angustifolium</i>	-	-	0,6	+	0,8	-	+	-
<i>Trifolium arvense</i>	+	-	1	0,5	-	-	8,3	1,7
<i>Trifolium subterraneum</i>	-	14	1	30	-	60	10,7	36,7
Otras leguminosas*	2	2	2	2	< 1	<1	2	2
Diversidad (N° sp)	73	51	58	46	73	44	69	53

*Otras especies de leguminosas que aparecen son: *Lathyrus angulatus*, *Medicago minima*, *M. polymorpha*, *Trifolium angustifolium*, *T. campestre*, *T. cernuum*, *T. glomeratum*, *T. hirtum*, *T. tomentosum*, *Vicia bengalensis* y *V. lutea*

Tabla 13.-Aportación de nitratos al suelo (mg/100g) por las especies de leguminosas autóctonas; (C = procedente de semillas comerciales).

Especie	NO ³	Especie	NO ³
<i>Biserrula pelecinus</i>	18,7 ± 14,5	<i>Trifolium angustifolium</i>	5,6 ± 1,2
<i>Ornithopus compressus</i>	4,4 ± 1,2	<i>Trifolium cennuum</i>	8,0 ± 2,4
<i>Medicago minima</i>	2,3 ± 1,2	<i>Trifolium glomeratum</i>	13,9 ± 8,0
<i>Medicago polymorpha</i>	3,3 ± 1,5	<i>Trifolium hirtum</i>	2,0 ± 0,1
<i>Medicago sativa</i> (C)	6,4 ± 0	<i>Trifolium subterraneum</i>	9,3 ± 4,6
<i>Trigonella polyceratia</i>	7,0 ± 1,7	<i>Trifolium tomentosum</i>	5,0 ± 2,0

- **Las cubiertas de veza.** Aunque la veza se incorpora al suelo al comienzo de la primavera, para evitar el efecto de la competencia hídrica con el olivo, ésta no parece compensarse hasta mediados del mes de mayo. En realidad, desde el punto de vista del desarrollo sostenible, no compensa la siembra de esta leguminosa en el escenario de estudio.

b) Cubiertas de vegetación arvense procedente del banco de semillas de los suelos de estos sistemas leñosos.

Las cubiertas de la vegetación arvense espontánea surgidas del banco de semillas del suelo se siegan en primavera, a pocos centímetros de la superficie del mismo, para minimizar la competencia con el cultivo, dejando las plantas secas sobre el mismo. Durante los ocho años de experimentación consecutivos (1996-2003), se ha llevado a cabo la realización de inventarios de la vegetación arvense que crecía en las parcelas de la vegetación residente y en las de los tréboles durante las primaveras y, al comienzo también en el otoño con el fin de identificar aquellas especies arvenses cuyo ciclo fenológico está más ligado al verano, así como las medidas de cobertura vegetal (%) tanto en primavera como en otoño, (tablas 14 y 15). Estas cubiertas de vegetación residente se comportaron de forma similar con unos recubrimientos muy similares.

Tabla 14. Valores medios de la diversidad vegetal (riqueza de especies) en el viñedo con los dos tipos de manejo llevados a cabo en las cubiertas

1º año diseño manejo I		6º año diseño manejo II	
Vegetación Arvense / Trebol		Vegetación Arvense / Trebol	
73	44	54,6	64,3

Si bien la biodiversidad alcanzada puede permitirnos hablar de una comunidad de pasto, la cobertura de las especies es muy desigual a la de las especies pratenses. Aunque hay un dominio neto de especies anuales (especialmente de compuestas y gramíneas). Estas características están implicadas en la comprensión del beneficio de esta vegetación residente en relación a la conservación del suelo y a la dinámica del agua en el perfil edáfico. Así, el total de 84 especies (un total de 47 inventariadas en las parcelas del olivar y 37 en sus homólogas del viñedo) en el favorable entorno de los primeros 0-20 cm del suelo, hace que muchas semillas puedan permanecer casi en superficie y germinar con las primeras lluvias, con lo que disminuye el efecto erosivo y de lavado de nutrientes en las superficies con pendiente. Por otra parte, la combinación de raíces axomorfas de las compuestas, tipología análoga a las raíces de los tréboles, con las fasciculares de las gramíneas, hace que tengamos una capa superficial adecuada para la dinámica del agua en esa capa superficial (véase al respecto los resultados expuestos en algunos trabajos citados en la bibliografía).

Tabla 15.- Estimación de la Cobertura del Suelo del viñedo (media del porcentaje) durante las primaveras. Los resultados del último año se deben a la nueva estrategia de manejo de las cubiertas ensayada a partir del otoño de 2001 para no empeorar la producción de uva.

Cubiertas	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2007
Trébol subterráneo	86	95	95	91	85	86	52	86,4
Vegetación arvense	48	49	53	87	86	90	31	81,4

El predominio de las anuales y de compuestas y gramíneas en la flora del viñedo, es un resultado semejante a los expuestos por otros autores para latitudes diferentes y, si no hay adicción de productos químicos, puede no variar en muchos años. En cuanto a los taxones de “malas hierbas” que los agricultores consideran difíciles de eliminar con herbicidas, se encuentran especies vivaces como *Convolvulus arvensis* o anuales con germinación estival u otoñal (*Amaranthus* y *Conyza*). A la vista de los resultados obtenidos por nosotros, pensamos que los tréboles subterráneos pueden ejercer un control natural de algunas de estas especies, por lo que tendremos que seguir profundizando en este aspecto.

d) La apuesta por las cubiertas vegetales en los cultivos leñosos más emblemáticos del secano mediterráneo

Los ensayos de cubiertas vegetales en viñedos realizados en un solo año, como el presentado por Zaragoza y Delgado (1996), no permiten obtener pautas claras en orden al manejo de estas cubiertas herbáceas, esencialmente por estar sujetas a las fluctuaciones climáticas anuales. Por otra parte, se ha dicho que los estudios de más de tres años en relación a las cubiertas de tréboles subterráneos, no son adecuados porque a partir de ese periodo de tiempo se establecen relaciones complejas entre dichas cubiertas, la vegetación residente y los insectos, con lo que se dificulta una evaluación de las mismas en orden a la fertilidad del suelo, la nutrición del cultivo leñoso y el uso del agua por parte del viñedo (Hanna y col., 1995). Maillet y col. (2001), comentan que se deben hacer las evaluaciones entre diez y quince años con el fin de conocer bien el manejo de las “malas hierbas” en los viñedos franceses. David y col., (2001) en su evaluación de cubiertas permanentes entre líneas, opinan que durante siete años ya es posible observar lo que éstas influyen en la calidad final del vino, así como en el vigor de las cepas y la fertilidad del suelo. Con todo, las cubiertas permanentes en viñedos es una técnica de conservación de suelos que tiende a desarrollarse cada vez más para preservar el medio ambiente.

También es suficientemente conocido el hecho de que las técnicas habituales en el manejo del olivar no consiguen aumentar la velocidad de infiltración del agua, y con las lluvias intensas se producen cárcavas, a veces demasiado profundas, como hemos podido observar, al igual que ha sido constatado por otros autores (Pastor y Castro, 1995; Saavedra, 1997). Una de las posibles soluciones al problema ha sido el empleo de cubiertas vegetales, generalmente de gramíneas (cereales, sobre todo) y leguminosas como la veza.

Con todo, se puede decir que las características generales de una cubierta viva ideal para proteger los suelos de olivares y viñedos en ambiente mediterráneo han sido señaladas repetidamente en los últimos años (Saavedra y Pastor, 2002): porte rastrero con bajo desarrollo en altura, rápido crecimiento, desarrollo radicular superficial, adaptación al régimen de precipitaciones, baja combustibilidad, capacidad de captar/movilizar nutrientes, capacidad de autosembrarse y ser escasamente competitiva con el cultivo leñoso. Ciertamente, las cubiertas con gramíneas han sido más utilizadas que las de leguminosas. El trabajo de revisión acerca de los cultivos de cubiertas en viñedos californianos, realizado por Bugg (1995), presenta una evaluación de las mismas desde la ecología, recogiendo las cuestiones

relativas a la dinámica de su implantación y mantenimiento, así como su papel en el reciclaje de nutrientes. El trabajo concluye diciendo que el conocimiento que se tiene acerca de las cuestiones señaladas es actualmente fragmentario.

La competencia por el agua en la época de estío del clima mediterráneo implica ir conociendo por un lado, las especies autóctonas que mejor puedan responder a los factores ambientales del territorio donde se ubican estos cultivos y, por otro, cómo saberlas manejar adecuadamente a fin de subsanar los impactos sobre la producción.

Resumiendo todo lo expuesto en este apartado diremos que en relación al manejo de las cubiertas herbáceas en suelos de cultivos leñosos situados en territorios semiáridos de clima mediterráneo, es importante realizar una evaluación multicriterio: erosión, fertilidad, producción y costes económicos. Pero hemos de señalar que, tanto la utilización de leguminosas anuales de semilla pequeña con capacidad de autosiembra, así como el establecimiento de cubiertas con la vegetación residente en el banco de semillas del suelo y de porte rastrero, son elementos que consideramos considerados muy importantes para la restauración de suelos degradados en el territorio del secano en nuestro país. Por otra parte, es necesario que, al menos durante tres años pueda conocerse el comportamiento de las mismas en las condiciones ambientales concretas de cada cultivo, a fin de poderlas manejar con más realismo.

Las siembras de cubiertas con especies de semillas pequeñas -como son las de los tréboles subterráneos que han venido comportándose con éxito en los primeros ensayos efectuados-, deben estar vinculadas al régimen de precipitaciones del año agrícola siguiendo las irregularidades climáticas de los últimos años. Lógicamente, se hace importante la utilización de diferentes cultivares precoces de *T. subterraneum* para facilitar una mejor respuesta a esas condiciones ambientales.

2. TALUDES DE CARRETERA: ESCENARIOS PARA LA REVEGETACIÓN

Una carretera con sus márgenes presenta una aguda discontinuidad con la vegetación regional. Los márgenes (y sus taludes especialmente), se caracterizan por unas modificaciones ecológicas que incluyen muchas de las causas de degradación de suelos: cantidad de factores: compactación del suelo, incremento de agua de lluvia que se recoge, materia orgánica removida, adiciones de basura frecuentemente con alto contenido de nitrógeno (frecuentemente orgánico, procedente de urea), removidas de la vegetación ocasionalmente, condiciones microclimáticas asociadas al pavimento, adición de suelos y rocas, entre otras.

Toda la red viaria se comporta además como una cinta impermeable que altera la distribución superficial de los flujos, concentrando y conduciendo las aguas a lugares diferentes o interceptando cauces y circulaciones superficiales con sus taludes y rellenos. Los caminos que abren por doquier, canalizan el agua, siendo causa frecuente de problemas, tanto en el caso de lluvias fuertes o muy fuertes como en la erosión cotidiana. El resultado de estas actuaciones se manifiesta de forma muy desigual, pero sin duda alguna, mucho más intensa y rápidamente en zonas como la nuestra con clima poco favorable para el desarrollo de una cubierta vegetal importante, como es el caso en los territorios mediterráneos semiáridos (Valladares et al., 2000). Si además los suelos están formados por materiales bastante arenosos, como sucede en muchos casos, la capacidad de almacenamiento de agua no es muy alta. La presencia de una buena

cobertura vegetal proporciona todo un sistema de almacenes temporales que amortiguan, dentro de unos límites muy variados según las circunstancias, las violencias de las aguas de lluvia.

El movimiento de tierras para realizar una carretera implica aflojar un determinado terreno y transportarlo donde sea necesario o no molesto. Y este trabajo se hace para dejar una terraza o talud, con pendiente longitudinal. Un talud de carretera ha surgido por tanto como una perturbación antrópica; es decir, por un cambio de los recursos en una unidad de paisaje que se traduce por un cambio perceptible en las respuestas de las poblaciones vegetales. Muchos de los taludes de carretera están además sujetos a perturbaciones continuas, tales como los cambios de uso del suelo del sistema que está por encima del mismo, así como a limpiezas de cunetas de carretera que eliminan bastante las partes inferiores del talud (Estalrich, 1994).

Los bordes de carreteras y sus taludes, son designados como hábitats ruderales. Sin embargo, existe para los taludes una continuidad con otras categorías de hábitats. Así, un talud de carretera en el que la perturbación implica siembras intencionales, en un terraplén para el control de la erosión, o con fines paisajísticos, pueden ser clasificados como hábitat con tendencia a cultivado; mientras que un talud que se mantiene mediante el aclarado del matorral cada cinco años, puede ser un hábitat degradado. Para otros autores, (Tena, 2006) los taludes de carretera son ecosistemas nuevos y su estudio trata de aportar información acerca de algunas características, patrones y mecanismos subyacentes que definen a una comunidad vegetal concreta. Este último punto de vista coincide actualmente en el pensamiento ecológico en relación a los taludes de carretera de otros autores (Estalrich, 1994; Valadares et al., 2000).

Los taludes de carreteras que existen desde hace mucho tiempo, han acumulado floras importantes. Es verdad que éstas se encuentran a poca distancia de viejos lugares en donde la capa superficial del suelo ha sido utilizada, permitiendo la colonización por especies que no toleran la competencia. También en el caso de los taludes estudiados por nosotros, se han podido observar varias especies endémicas, que encuentran en ellos un lugar adecuado para su subsistencia, (Estalrich, 1994).

2.1 Caracterización de los taludes estudiados

En nuestro país, los estudios sobre taludes de carretera han estado bastante marcados por cuestiones referidas a tecnologías y mantenimiento de estos sistemas, como puede deducirse de los trabajos presentados en los Simposios habidos sobre Taludes y Laderas Erosionadas. Sin embargo, tesis doctorales actuales vienen presentando estudios de características más relacionadas con la vegetación, (Estalrich, 1994; Martínez Ruiz, 2000; Tena, 2006), así como el trabajo de Otero et al. (1999) en relación a la restauración de taludes, en que los autores aluden brevemente a factores ecológicos para la selección de especies. Todo ello permite afrontar con realismo el tema de la revegetación de los mismos.

El uso de la vegetación de taludes es en primer lugar el control de la erosión, el ser hábitats para la vida silvestre (en algunos países) y, en otros, ostentar calidad visual para los viajes por estas redes de comunicación. Con todo, el suelo debe ser lo suficientemente bueno para que permita a la vegetación satisfacer estas necesidades. Pero una vegetación vigorosa en exceso será un riesgo, ya que se requiere una siega y si no se corta, puede constituir una fuente de "malas hierbas" para las tierras agrícolas circundantes o próximas, o ser un azar para el fuego.

El primer objetivo global pretendido en nuestra investigación al respecto, ha sido obtener un conocimiento general de las características de los taludes seleccionados para un estudio

enmarcado en diferentes tipos de sustratos, (arcósico y calizo), tanto para los aspectos geomorfoedáficos como de cobertura vegetal. Así, se han estudiado 62 taludes con diferentes tipos de suelo (regosoles, cambisoles, luvisoles y calcisoles). Todos ellos tienen distinta longitud a lo largo de una carretera concreta. Su altura oscila de 4 a 9 metros de altura desde la base de la carretera. Para el estudio de las características concretas de todos ellos, se ha realizado un muestreo de tipo sistemático, por medio de un transecto de 3 metros (siguiendo la paralela a la carretera) x 4 metros de altura con tres parcelas de 3 x 1 m. La posición de estas parcelas corresponde a las partes alta, media y baja del talud, que pueden asemejarse en principio, a las denominadas "hombro" (shoulder), "pie de ladera" (footslope) y "punta de la ladera" (toeslope) en la terminología utilizada para la geomorfología de laderas, así como a los llamados sectores de "exportación", "transporte" y "sedimentación" de las mismas.

Se suelen distinguir las siguientes formas elementales: micro-relieves "plano-convexo", "plano-cóncavo" y "cóncavo-convexo". Basándonos en las observaciones de reconocimiento, un perfil del talud es un plano da una imagen visual inmediata de la pendiente. Los perfiles de los taludes, (figura 2), podemos generalizarlos en seis casos-tipo: perfil cóncavo, convexo, recto, o combinaciones de ellos. Las unidades rectilíneas son denominadas "segmentos" y las unidades curvas los verdaderos elementos (convexo y cóncavo). Casi la mitad de los 62 taludes estudiados presentan formas combinadas entre los segmentos y elementos. Vinculada a la morfología de los taludes está también la presencia o no de cunetas como entidades o pequeños sistemas ecotonales entre las carreteras y los mismos. Esta última característica la presentan algunos de los taludes.

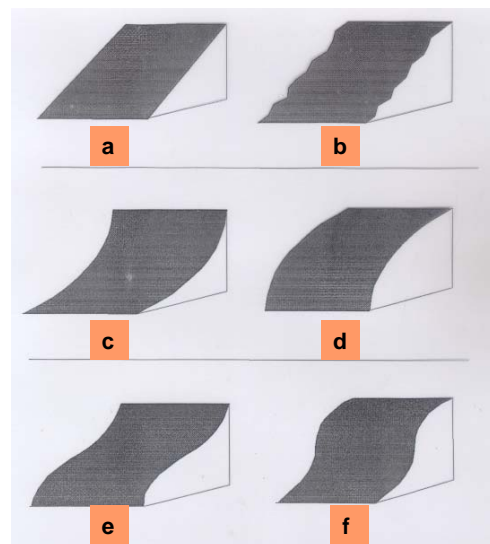
Figura 2. Casos tipo de perfiles de taludes de carretera (Fuente, Estalrich, 1994)

TALUDES DE CARRETERA

➤ Hemos aplicado el modelo conceptual y metodológico de "ladera" al estudio de los taludes como estructuras de paisaje, esencialmente para los aspectos relacionados con la erosión y la vegetación.

➤ Se han tipificado 62 taludes de carreteras del centro peninsular en base a su geomorfología (10 variables fisiográficas), a sus respectivos sustratos (calizos y silíceos), a las características de los primeros diez cm del suelo (18 variables granulométricas entre otros parámetros edáficos), así como características relacionadas con parámetros globales de la vegetación (especies que imprimen fisonomía recubrimiento vegetal, especies fijadoras y especies encespedantes).

➤ Se realizó un inventario florístico en cada talud, en una superficie de 10m de largo x 4m de altura, obteniendo un total de 324 especies vegetales.



CASOS TIPO DE PERFILES DE TALUDES DE CARRETERA:

a) recto, b) rugoso, c) cóncavo, d) convexo, e) cóncavo-convexo y f) convexo-cóncavo

Así pues, es posible reconocer visualmente cómo un talud presenta tres zonas bastante diferenciadas en algunos casos, y que en adelante denominaremos alta, media y baja (o también pueden ser llamadas unidades topoedáficas).

Donde no se utiliza la capa superficial edáfica primigenia, la situación es diferente. El material expuesto, será el subsuelo y la roca subyacente, deficientes normalmente en nutrientes como N y P. Las rocas tienen además sus particularidades físicas y químicas. Dejados a "su aire", los taludes comenzarán a ser colonizados de forma natural.

Un total de 324 especies vegetales han sido inventariadas en los taludes estudiados durante los muestreos realizados. Las compuestas y las leguminosas, con raíces axomorfas, son contempladas desde el criterio de plantas fijadoras del talud (tabla 16) Las gramíneas con rizomas y el hábito de crecimiento rastrero pero cubriendo buena parte del plano superficial del talud, son igualmente valoradas como elementos positivos para la protección de la capa superficial del suelo de un talud.

Tabla 16.- Especies más fijadoras comunes en los dos tipos de sustarato (arcósico y calizo) en las tres zonas de taludes de carretera (Estalrich et al., 1992)

EXPORTACIÓN	TRANSPORTE	SEDIMENTACIÓN
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Dactylis glomerata</i>
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Cynodon dactylon</i>
<i>Onobrychis peduncularis</i>	<i>Ononis spinosa</i>	<i>Medicago sativa</i>
<i>Thymus zygis</i>	<i>Thymus zygis</i>	<i>Thymus zygis</i>
<i>Eryngium campestre</i>	<i>Eryngium campestre</i>	<i>Eryngium campestre</i>
<i>Plantago albicans</i>	<i>Centaurea paniculada</i>	<i>Centaurea paniculada</i>
	<i>Foeniculum vulgare</i>	<i>Foeniculum vulgare</i>

Llama la atención que la media del nº de gramíneas sea parecida para las partes altas, medias y bajas respectivamente). Prácticamente es también igual el nº de leguminosas (para las tres unidades topoedáficas consideradas) y para el número de especies de las compuestas (respectivamente). Difieren algo en relación al número medio de otras especies. El total de gramíneas y leguminosas suele ser de un 40 a 50 % del total del número de especies en el talud, abundando las especies anuales (tabla 17). El nº de terófitos es el que se ve más favorecido con el régimen de lluvias en este territorio mediterráneo: así la correlación positiva entre dicho factor y la cobertura vegetal de un talud se ha mostrado altamente significativo, siendo precisamente las anuales aquellas especies que más contribuyen a detener la erosión (Estalrich et al., 1997). En el cuadro 1 se muestra una síntesis de la biodiversidad vegetal de los taludes estudiados. Considerando la orientación a la que están expuestos los taludes, se observa que la riqueza de especies es bastante semejante en los taludes de la carretera para ambas orientaciones N y S, pero no así la cobertura vegetal claramente más elevada en los taludes orientados al norte. Estas dos exposiciones corresponden a situaciones de umbría (norte) y solana (sur). Un balance de estos resultados se muestra en la tabla 18.

Tabla 17.- Balance de especies en los taludes

	Anuales	Bianuales	Perennes
Promedio	37,38	5,62	12,31
desviación	11,00	1,45	3,47

Cuadro 1.- Resumen relativo a la biodiversidad vegetal de los taludes de carretera estudiados

- La biodiversidad “alfa” (riqueza de especies) es bastante semejante en todos los taludes: unas 25 especies por término medio. Este índice de diversidad aumenta cuando se desciende a lo largo del talud
- Hay una mayor afinidad entre las comunidades de los taludes del grupo calizo que entre la del grupo silíceo (diversidad “beta”)
- Los taludes de carretera una reserva y un escaparate de la flora del territorio, a veces desaparecida por la intensa acción antrópica. Son, además, “corredores” o “pasillos” que interrelaciona y comunican unas áreas naturales con otras.

Así pues, la riqueza específica es muy alta en las comunidades que presentan los taludes maduros, formadas por especies pertenecientes a las tres familias más frecuentes a escala global (leguminosas, gramíneas y compuestas) y de rango de distribución amplio, o muy amplio (cosmopolitas). Nuestros resultados son coincidentes con los obtenidos por Tena (2006), para taludes de carretera en Andalucía.

Tabla 18.- Balance de especies vegetales que crecen en taludes de exposiciones contrapuestas

	Solana	Umbría
Nº total de parcelas	17	16
COBERTURA HERBÁCEA %		
Zona alta (Exportación)	30	59
Zona media (Transporte)	34	53
Zona baja (Sedimentación)	52	60
RIQUEZA DE ESPECIES / PARCELA	53	46

2.2 Experimentos de revegetación

A la vista de los resultados obtenidos mediante el estudio expuesto en el apartado anterior, los criterios tenidos en cuenta a la hora de estimar las especies que más colaboran a la hora de poder fijar los elementos estructurales del suelo en taludes con acusadas pendientes, por encima del 40% en la gran mayoría de los casos, han sido los considerados a continuación. En primer lugar, el tipo de enraizamiento, especialmente raíces de tipo axomorfo, con una potente raíz principal en muchos casos e incluso bastante suberizadas. Otro aspecto tenido en cuenta ha sido el hecho de que las especies poseyeran estolones y/o rizomas, dado que estas estructuras vegetales permiten fijar varios centímetros en la línea horizontal del talud, aunque no sea en la vertical como en el caso anterior. Un tercer criterio para evaluar la contribución de las especies vegetales a la no pérdida de elementos finos de la capa superficial edáfica, ha sido el hecho de que éstas presentasen un hábito de crecimiento que fuese de bastante cobertura del plano más superficial del suelo del talud. A la hora de las precipitaciones dichas especies pueden frenar bastante a las gotas de lluvia que inciden en el talud y, por tanto, contribuir a que no se pierdan partículas del suelo por escorrentía. El último criterio señalado puede denominarse “poder tapizante” de las especies, mientras que los dos anteriores se identifican mejor con la terminología de “enraizamiento vigoroso” y “poder vegetativo prolongado”.

El diseño experimental ha constado de cuatro taludes (T-1, T-2, T-3 y T-4) ubicados en un mismo sustrato, arcosas ligeramente carbonatadas, presentando un mismo tipo de suelo,

luvisol (cálcico para los tres primeros y vértico para el T-4). Los cuatro taludes experimentales han tenido las mismas dimensiones en cuanto a altura y longitud (4 x 7 m). Se ha tenido en cuenta que presentaran orientaciones opuestas dada la influencia que esta característica tiene para los taludes de una misma carretera (Estalrich et al., 1992). Así, T-1 y T-3 tienen orientación NW y los T-2 y T-4, orientación SE. La precipitación media anual es de 450 mm en el territorio, presentando un perfil cóncavo excepto el T-1 que es recto. Los sedimentos arrastrados en cada uno de ellos y el balance del agua de escorrentía se muestran en Estalrich et al (1997)

En el ensayo de revegetación en estos escenarios reales se han utilizado un total de 23 especies autóctonas y 6 comerciales, fundamentalmente gramíneas y leguminosas herbáceas seleccionadas en base a los criterios anteriormente mencionados. Las siembras se han realizado en tres otoños consecutivos; los dos primeros años se utilizaron plántulas procedentes de la germinación en cámaras de crecimiento y en el último año fue de siembra directa. Los resultados fueron evaluados en cada una de las primaveras siguientes (tabla 19). Cuando hemos comparado estos resultados con los obtenidos en otro tipo de ensayo para la revegetación en taludes del territorio calizo (Estalrich, 1994), se puede deducir que hay un mejor respuesta en los taludes arcósicos que en los calizos. Las diferencias observadas podrían deberse al tipo de textura del suelo, ya que es más favorable la de tipo arenoso. Ello ocurre aunque se comparen los resultados obtenidos para las mismas especies sembradas en uno u otro tipo (*Dactylis glomerata* y *Hordeum murinum*, por ejemplo). Nuestros resultados vienen a ser análogos a las conclusiones que se exponen en Martínez Ruiz (2000), al decir esta autora que el sustrato arcósico es el más recomendable para el recubrimiento de taludes.

Las especies autóctonas dan mejores resultados, por lo general, que las comerciales, al menos en las primeras etapas sucesionales. Nuestros resultados concuerdan con los mostrados por Cotts et al., (1991). Pensamos que la implantación de una cobertura vegetal aceptable en nuevos taludes de carretera sin depender ni siquiera de riego por goteo, o para la restauración de aquellos en que el suelo se encuentre muy degradado, las especies deben ser seleccionadas de acuerdo a lo que hemos denominado un “índice de revegetación” (Urcelay et al., 1993; Hernández y Pastor, 2000), ya que puede ser tenido en cuenta para distintos tipos de escenarios a restaurar (cuadro 2).

Para el caso de una revegetación de taludes de carretera pensamos que la selección de especies se hará en base a la rapidez de germinación, la fácil implantación y persistencia después de la misma, así como al poder tapizante y enraizamiento. Criterios semejantes han sido también puestos de manifiesto en otros trabajos (Ramos et al., 1974; Ruiz de la Torre, 1990).

Tabla 20.- Nº total de especies procedentes del banco de semillas del suelo de los taludes experimentales que han crecido junto a las especies sembradas durante los tres años

	T-1			T-2			T-3			T-4		
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º
Alta	1	3	3	0	1	2	0	0	2	2	4	2
Media	1	1	1	0	3	0	1	1	1	1	4	3
Baja	1	2	2	0	6	4	1	0	1	1	2	5

Tabla 19.- Resultados obtenidos en el ensayo experimental de revegetación de taludes de carretera (S = n° plántulas sembradas y V = n° de ejemplares que sobrevivieron)

	T-1		T-2		T-3		T-4	
1° año	S	V	S	V	S	V	S	V
AUTOCTONAS								
<i>Aegilops geniculata</i>	3	0	3	3	3	3	3	3
<i>Anthyllis lotooides</i>	15	3	15	2	9	4	15	0
<i>Astragalus hamosus</i>	15	8	15	10	15	12	15	7
<i>Bromus hordaceus</i>	15	10	15	10	15	14	15	12
<i>Dactylis glomerata</i>	15	3	15	10	15	5	15	14
<i>Hordeum murinum</i>	15	15	15	14	15	14	15	15
<i>Ornithopus compressus</i>	15	9	15	3	15	4	15	5
<i>Retama sphaerocarpa</i>	3	1	3	0	2	1	3	1
<i>Stipa tenacissima</i>	3	0	3	0	3	0	3	0
<i>Trifolium angustifolium</i>	15	2	15	1	15	8	15	1
COMERCIALES								
<i>Ray-Grass inglés</i>	15	4	15	14	15	11	15	7
<i>Ray-Grass italiano</i>	15	1	15	2	15	1	15	1
<i>Cynodon dactylon</i>	15	0	15	0	15	2	15	0
<i>Medicago sativa</i> (alfalfa)	15	6	15	0	15	9	15	1
2° año								
AUTOCTONAS								
<i>Aegilops geniculata</i>	15	15	15	14	15	14	15	15
<i>Anthyllis cornicina</i>	15	0	15	0	15	1	15	0
<i>Anthyllis lotooides</i>	15	0	15	2	15	0	15	5
<i>Avena sterilis</i>	15	14	5	0	-	-	15	6
<i>Bellardia trisago</i>	15	0	15	0	15	0	15	0
<i>Biserrula pelecinus</i>	15	2	15	0	15	0	6	3
<i>Bromus tectorum</i>	15	9	15	0	15	11	15	6
<i>Hippocrepis ciliata</i>	15	5	5	1	5	0	15	1
<i>Lolium rigidum</i>	15	9	15	9	15	13	15	14
<i>Medicago lupulina</i>	15	1	15	0	15	3	15	4
<i>Medicago minima</i>	15	2	15	0	15	1	15	12
<i>Ornithopus compressus</i>	15	2	15	2	15	1	15	5
<i>Plantago coronopus</i>	15	0	15	0	15	0	15	0
<i>Plantago lagopus</i>	15	0	15	0	15	3	15	4
COMERCIALES								
<i>Agrostis tenuis</i>	15	1	15	2	15	1	15	1
<i>Cynodon dactylon</i>	15	1	5	0	11	0	15	0
<i>Festuca rubra</i>	15	0	15	12	15	10	15	2
<i>Medicago sativa</i> (alfalfa)	15	11	15	6	15	5	15	7
3° año								
AUTOCTONAS								
<i>Cynodon dactylon</i>	84	2	84	47	84	5	84	7
<i>Dactylis glomerata</i>	84	27	88	55	84	84	84	44
<i>Biserrula pelecinus</i>	70	0	70	0	70	0	70	0
<i>Medicago rigidula</i>	70	18	70	10	70	9	70	10
<i>Ornithopus compressus</i>	70	0	70	1	70	0	70	2

Cuadro 2.- Un Índice para la Revegetación de suelos degradados en el territorio arcósico y para taludes de carretera y vertederos sellados con este material.

Índice de Revegetación = EG + T + P + HC + F

EG = Éxito en la germinación. Tiene relación con las condiciones climáticas de la zona y las condiciones físicas del suelo.

T = Tolerancia a los factores ecológicos más determinantes de la estructura del ecosistema objeto de restauración

P = Producción de semillas al finalizar el ciclo fenológico de la especie sembrada

HC = Hábito de crecimiento de la especie con el fin de favorecer al protección del suelo

F = Facilidades para la dispersión de semillas

(La valoración para cada especie se hace de 0 a 4 y luego se codifican los datos)

El uso de la capa superficial del suelo con una mezcla de semillas para sembrar un talud tiene como resultado un tipo de pasto productivo, del cual la mayoría de las otras especies tienden a ser excluidas por competencia. Si el ambiente que rodea al talud es un pasto fértil permanentemente, este tratamiento produce carreteras con taludes en armonía con su entorno. Las relaciones se quiebran, sin embargo, si no se mantiene la siega o cortes periódicos. Hay pocas especies en un talud que puedan tolerar la competencia de las gramíneas pioneras en tales circunstancias. No obstante, se pueden citar especies de *Rumex* y cardos, consideradas, eso sí, como "malas hierbas" para los cultivos adyacentes.

Donde no se utiliza la capa superficial edáfica primigenia, la situación es diferente. El material expuesto, será el subsuelo y la roca subyacente, deficientes normalmente en nutrientes como N y P. Las rocas tienen además sus particularidades físicas y químicas. Dejados a "su aire", los taludes comenzarán a ser colonizados de forma natural.

Agradecimientos: a los Proyectos CTM 2005-02165/TECNO del MEC; REN 2002-02501 del MCyT; 1.2-046/2005/3-B del Ministerio Medioambiente; al programa EIADES de la CM y a la Comunidad de Castilla La Mancha por financiar la investigación encaminada a la restauración de espacios degradados.

Referencias bibliográficas

- Bergen, S.D; Bolton, S. M. & Fridley, J.L. 2001. Design principles for ecological engineering. *Ecological Engineering*, 18: 201-210.
- Bugg, R. 1995.- Cover crop biology: A minireview. Part I. Sustainable Agriculture. <http://www.sarep.ucdavis.edu>
- Crovetto, C. 2000.- *Agricultura de Conservación*. Ed. Vida Rural
- David, N., Serrano, E ; Renard, R. 2001.- Vigne et qualité de vendange: effet de l'enherbement semé. *Phytoma. La Défense des Végétaux*, n° 544.
- Cotts, N.R., Redente, E.F. and Schiller, R. 1991. Restoration methods for abandoned road at lower elevations in Grand Teton National Park Wyoming. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 5: 235-349
- Estalrich, E. 1994. *Estudio ecológico de taludes de carretera*. Tesis Doctoral Universidad de Alcalá
- Estalrich, E.; Hernández, A. J.; Pastor, J. 1992. Conocimiento de ecotipos de especies fijadoras en taludes de carretera en clima semiárido. 3º Simp. Nac. Sobre Taludes y Laderas Inestables. La Coruña 20-23 octubre: 781-790

- Estalrich, E.; Hernández, A. J.; Aranda, L y Pastor, J. 1997. Estudio de factores edáficos relacionados con la erosión y escorrentía en taludes de fuerte pendiente; ensayos de revegetación. *Edafología*, 2:161-167
- Gattie, D.K.; Smith, M.C.; Tollner, E. W.; McCutcheon, S.C. 2003. The emergence engineering as a discipline. *Ecological Engineering*, 20: 409-420
- Hanna, R., Salom, F. Y Elmore, C. 1995.- *Sustainable Agriculture*. <http://www.sarep.ucdavis.edu>
- Hernández, A. J.; Estalrich, E.; Minguez, A. y Pastor, J. 1997.- Incidencia de las cubiertas herbáceas en la conservación de suelos y en la humedad edáfica de los agrosistemas semiáridos. *Edafología*, 2: 153-159.
- Hernández, A. J. y Pastor, J.2000. La revegetación de vertederos de residuos urbanos basada en principios ecológicos. En *Ecología Latinoamericana*. Péfaur, J. (ed.). Ed.Publ.Univ. Los Andes. Cons Publ.CDCHT, Mérida, Venezuela.: 449-455
- Hernández, A. J.; Urcelai, A. y Pastor, J. 2002-a. Evaluación de la resiliencia en ecosistemas terrestres degradados encaminada a la restauración ecológica. *II Reunión Española de Ciencia de Sistemas (RECS-II), Libro de Ponencias*. Ed. Universidad Internacional Menéndez y Pelayo-SESG, Valencia: 1-8
- Hernández, A. J.; Pastor, J.; Prieto, N. y Lacasta, C. 2002-b. - Evaluación de cubiertas de tréboles subterráneos y de vegetación residente encaminada hacia estrategias de manejo para establecer un viñedo ecológico. En: *La agricultura y ganadería ecológicas en un marco de diversificación y desarrollo solidario*. E. Dapena y J. L. Porcuna (eds.): 645-657. Ed. SEAE-SERIDA, Gijón.
- Hernández, A. J.; Lacasta, C. y Pastor, J. 2005. Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed orchard *Agricultural Water Management*;; 77: 232-248.
- Kangas, P. C. 2004. *Ecological Engineering. Principles and Practice*. Ed. Lewis Publis. USA.
- Maillet, J., Arcuset, P. Carsouille, J. 2001. *Phytoma. La Défense des Vègètaux*, nº 544.
- Martínez Ruiz, C. 2000. *Dinámica de la recuperación de zonas degradadas por movimientos de tierra: sucesión vegetal y clasificación de especies según su actividad colonizadora* Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca
- Otero, I. (coord.), 1999. *Impacto Ambiental de Carreteras. Evaluación y Restauración*. Ed. Asociación Española de la Carretera
- Pastor, M. y Castro, J. 1995. Sistema de manejo de suelos y erosión. *Olivar*, 59: 64-74.
- Pastor, J.; Hernández, A. J.; Estalrich, E. and Oliver, S. 1996. Ecological relationships between species and edaphic factors in degraded soils with strong slopes. In *Measuring and Modeling Erosion Processes. First European Conference on Erosion Control*. Sitges, Sess. 6: 1-4 (IECA) International Erosion Control Association.
- Pastor, J. y Hernández, A. J. 2001.-Estudio del carácter nitrófilo de las especies de comunidades vegetales pastadas por ganado ovino, vinculado a procesos de antropización.. En *Biodiversidad en Pastos*: 161-167 Ed. Generalitat Valenciana y Cibio.
- Pastor, J. y Hernández, A. J. 2003.- Empleo de cubiertas de trébol subterráneo en olivar y Viñedo frente al laboreo y no laboreo en estos agrosistemas. En: *Pastos, desarrollo y conservación*: 721- 734. Robles, A.B. et al.(eds.) Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Granada ISBN: 84-8474-100-1
- Pastor, J. & Hernández, A. J. 2004-a. Ecological engineering in the management of an olive orchard on degraded Soil. In: *Managing Land Quality to Reduce Degradation*. Proc. Fourth International Conference on Land Degradation (ICLD4). A. Faz, R. Ortiz and G. García (eds.): 247-248. Quaderna Editorial, Alicante.

- Pastor, J.; Hernández, A. J. 2005. Plant covers for the conservation management of a dry farmed olive and vine orchards on the arid degraded soils of central Spain. In: *The challenge of agriculture, the environment, the energy and the new common agrarian policy*. Ed. European Federation Conservation Agriculture: 567-572
- Pastor, J.; Hernández; A. J.; Pérez-Leblic, M^a I. y Rodríguez, J. 2007-a. Parámetros de evaluación de la sostenibilidad de diferentes manejos para un olivar ecológico. *Ecoliva 07* (en prensa)
- Pastor J.; Benítez M. ; Hernández A. J. 2007-b. Cubiertas vegetales en olivar y viñedo: balance de diez años en relación al agua del suelo y su monitorización. *Agroingeniería*, (en prensa)
- Ramos, I.; Domínguez, M. L. y Soriano, C. 1974. *Tratamiento funcional y paisajístico de taludes artificiales*. Monografías 2 ICONA
- Ruiz de la Torre, J. 1990. *Catálogo de especies vegetales a utilizar en plantaciones de carreteras*. Ed . MOPU
- Saavedra, M.; Pastor, M. 2002. *Sistemas de cultivo en olivar. Manejo de malas hierbas y herbicidas*. Editorial Agrícola Española, S. A.
- Tena, D. 2006. *Implicaciones funcionales y evolutivas de la estructura y dinámica de comunidades herbáceas de bordes de carretera*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense, Madrid.
- Urcelay, A.; Pastor, J.; Oliver, S.; Sánchez, A. and Hernández, A. J. 1993.- Use of herbaceous species in land reclamation of dumps areas in Central Spain. In: *Aire-Residuos, Proc. III Congreso de Ingeniería Ambiental*.: 524-532. Bilbao Nazioarteko Erakustazoka, Bilbao.
- Valladares, F; Pastor, J y Hernández, A. J. 2000. *Análisis Ambiental de la vegetación potencialmente afectada por el plan de desdoblamiento de la carretera M-501 (Km. 21,8 a 39,5)*. Memoria de la Investigación, Comunidad de Madrid.
- Zaragoza, C. y Delgado, I. 1996. Un ensayo de coberturas vegetales en viña. *ITEA 17*, 404-405.